

稗对水稻生长和产量性状的影响及其经济阈值

朱文达

(湖北省农业科学院植保土肥所, 武汉 430064)

摘要: 稗 *Echinochloa crusgalli* Beauv. 在稻田的发生危害对水稻生产造成了严重威胁。为明确稗对水稻生长的影响及其经济危害允许水平, 采用添加系列试验和模型拟合的方法研究了不同稗草密度下水稻各产量性状的变化规律。研究结果表明, 水稻在稗的竞争干扰下, 植株的分蘖数、有效穗数、千粒重及产量均随稗草密度的增加而逐渐降低。指数模型 $y = be^{ax}$ 可以较好地拟合稗对水稻分蘖数 ($y = 493.74e^{-0.0164x}$, $P < 0.0001$)、有效穗数 ($y = 437.2e^{-0.0165x}$, $P < 0.0001$) 及千粒重 ($y = 21.876e^{-0.0006x}$, $P < 0.005$) 的影响, 而对数模型 $y = a\ln x + b$ 拟合稗与水稻产量 ($y = -1250.4\ln x + 6375.4$, $P < 0.0001$) 及产量损失 ($y = 18.844\ln x + 3.9182$, $P < 0.0001$) 间的关系最佳。稻田使用乙苄、丁草胺、禾大壮、二氯喹啉酸等药剂进行化学除草时, 稗的经济危害允许水平在 0.71% ~ 1.10% 之间, 经济阈值在 0.85 株/m² 左右。

关键词: 稗; 水稻; 曲线拟合; 经济危害允许水平; 经济阈值

稗 *Echinochloa crusgalli* Beauv. 是水稻田的恶性杂草之一^[1]。稗对生态位的要求与水稻极为相似, 与水稻具有拟态竞争特性^[2]。并且, 稗为 C₄ 植物, 水稻为 C₃ 植物, C₄ 植物在生长势、抗逆性及对水分、光照、土壤养料的争夺上大大强于 C₃ 植物^[3]。因此, 稗在水稻田发生危害, 严重影响了水稻的生长发育, 降低了水稻产量。长期以来稻田稗草一直以化学防除为主, 除草剂在农田大量使用造成的残留污染已严重威胁到人类健康及其它生物的安全, 引发了抗药性杂草的产生和生物多样性资源的破坏。在目前的稻田控草体系中, 迫切要求对杂草进行综合管理, 减少化学除草剂的使用。这就需要对杂草的生物生态学特性及发生危害规律进行详细的研究, 提高化学除草剂使用时的针对性, 进行精准施药, 从而减轻除草剂对生态环境造成的压力。本研究旨在明确田间条件下稗对水稻生长发育及产量性状的影响, 确定稻田稗草的经济危害允许水平及防除阈值, 为稗草的防除提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验田基本情况

试验在湖北省农科院南湖农场进行, 土壤类型为黄棕壤, pH 值 6.5, 有机质含量在 2.3% 左右。在田间筑埂围成试验小区, 小区面积为 4.8m² (1.5m × 3.2m)。全部小区施用氮 (N) 150kg/hm², 磷 (P₂O₅) 37.5kg/hm², 钾 (K₂O) 75kg/hm²。供试晚稻为鄂晚 5 号, 种植密度为 16.7cm × 16.7cm, 每穴插秧苗 4 株, 每小区共计 128 穴, 于 2003 年 7 月 2 日移栽, 各处理栽培管理措施均相同。

1.2 处理设置

试验设置 9 个处理^[4]: (1) 无稗对照, 0 株/m²; (2) 32 穴 1 株稗, 0.83 株/m²; (3) 16 穴 1 株稗, 1.67 株/m²; (4) 8 穴 1 株稗, 3.33 株/m²; (5) 4 穴 1 株稗, 6.67 株/m²; (6) 2 穴 1 株稗, 13.33 株/m²; (7) 1 穴 1 株稗, 26.67 株/m²; (8) 1 穴 2 株稗, 53.33 株/m²; (9) 1 穴 4 株稗, 106.67 株/m²。每处理 4 次重复, 共计 36 小区, 随机排列。试验期间, 人工拔除其它杂草。

1.3 调查方法

在水稻分蘖期进行分蘖数调查, 在成熟期进行有效穗数调查。各小区水稻单收单放, 考种测产, 测定其千粒重及实际产量。

基金项目: 国家“十五”攻关项目 (2001BA509B07), 湖北省重点科学技术研究项目 (992P0504)

作者简介: 朱文达, 男, 1938 年生, 研究员, 从事杂草生物生态学及综合管理研究 (E-mail: zhwd@163.com)

收稿日期: 2004-02-25

1.4 数据处理及统计分析

调查结果使用 Microsoft Excel 2000 进行数据处理,并运用 SPSS 10.0 统计分析软件进行方差分析,测验各处理间的差异显著性。对不同密度稗与水稻各有关性状特征值进行回归分析,回归模型采用直线($y = ax + b$)、二次曲线($y = ax^2 + bx + c$)、指数($y = be^{ax}$)、对数($y = a\ln x + b$)、幂函数($y = bx^a$)等 5 种拟合方式,根据相关程度的高低筛选出最佳的拟合模型。

依据水稻产量损失与稗密度的相关模型,同时根据水稻生产所允许的产量损失水平,确定稗草的经济危害允许水平及防除阈值。经济危害允许水平(EIL)主要受作物的产量、价格及杂草防除费用等因素的影响,根据涂修亮^[5]等确定杂草经济危害允许水平的方法进行计算,其中 CC 为

杂草防除费用, Y 为水稻产量, P 为水稻价格, E 为防除效果。

$$EIL(\%) = \frac{CC}{Y \times P \times E} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 稗对水稻分蘖数的影响

稗的生长势比水稻强,稗的旺盛生长对水稻的生长发育产生了较大影响。随着稗密度的增加,水稻分蘖数逐渐降低。当稗密度为 1.67 株/ m^2 ,即 16 穴 1 株稗时,水稻分蘖数与对照相比下降了 5.63%,差异达显著水平(表 1)。稗密度越高,分蘖数越少,说明稗的发生危害严重阻碍了水稻的生长发育。

表 1 不同密度稗对水稻生长及产量性状的影响

Table 1 Effects of different density barnyardgrass on the growth and yield characters of paddy rice

密度 (plant/ m^2)	分蘖数 (no./ m^2)	有效穗数 (no./ m^2)	千粒重 (g)	产量 (kg/ hm^2)	产量损失率 (%)
Density	Tillers	Spikes	1000-grain weight	Yield	Yield loss
0.00	560.0 a	490.42 a	22.57 a	6635.42 a	0.00
0.83	536.7 ab	472.50 ab	21.88 abc	6218.75 a	6.28
1.67	528.5 bc	447.92 b	21.94 abc	5541.67 b	16.48
3.33	501.7 c	443.33 b	22.09 ab	5239.58 b	21.04
6.67	443.3 d	385.00 c	21.87 abc	4729.17 c	28.73
13.33	369.8 e	319.17 d	21.51 abc	3093.75 d	53.38
26.67	271.9 f	253.75 e	20.98 cd	2052.08 e	69.07
53.33	175.0 g	171.25 f	21.45 bcd	1104.17 f	83.36
106.67	96.9 h	80.63 g	20.47 d	583.33 g	91.21

注:同一列相同字母表示差异在 0.05 水平上不显著。Note: Means followed by the same letter are not significant at 0.05 level in each column.

对水稻分蘖数与稗密度之间的关系进行曲线拟合,从拟合结果可见,二次曲线、指数和对数曲线等均与实测值拟合较好(图 1)。从回归分析所得模型的相关系数 R^2 值来看,拟合效果二次曲线 > 指数 > 对数 > 幂函数 > 直线。对回归模型进行 F 测验,结果表明,各种模型均能较好地解释水稻

分蘖数与稗密度之间的关系($P < 0.01$)。综合各回归模型的 R^2 值、 F 值及曲线与实测值的拟合程度,我们认为二次函数 $y = 0.06x^2 - 10.383x + 527.49$ 或指数函数 $y = 493.74e^{-0.0164x}$ 能较好地表示水稻分蘖数与稗密度之间的关系(表 2)。

表 2 不同密度稗与水稻分蘖数的回归分析

Table 2 Regression analysis between barnyardgrass density and tiller number of paddy rice

拟合方式	回归模型	R^2	F	显著性
Fit method	Regression model			Significance
直线 Linear	$y = -4.1843x + 476.61$	0.8436	32.3538	0.0013
二次曲线 Quadratic	$y = 0.06x^2 - 10.383x + 527.49$	0.9831	145.2749	0.0000
指数 Exponential	$y = 493.74e^{-0.0164x}$	0.9644	162.6731	0.0000
幂函数 Power	$y = 676.97x^{-0.3353}$	0.8510	34.2656	0.0011
对数 Logarithmic	$y = -96.292\ln x + 581.49$	0.9470	107.2232	0.0000

2.2 稗对水稻有效穗数的影响

水稻在无稗状态时,生长发育良好,有效穗数达 490.4 个/ m^2 。在有稗竞争时,随着稗草密度的增加,水稻有效穗数呈下降趋势。当田间稗草密度增加到 1.67 株/ m^2 时,有效穗数与对照相比达到显著水平(表 1)。从水稻有效穗数与稗密度之间的拟合结果可见,二次曲线、指数、对数等拟合方式均能较好地解释实测值(图 2)。回归分析表

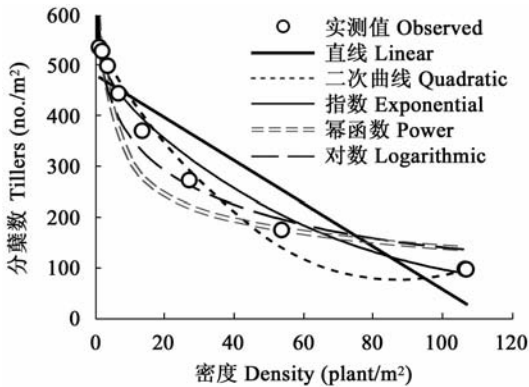


图 1 不同密度稗与水稻分蘖数的曲线拟合

Fig. 1 Curve fit of barnyardgrass density and tiller number of paddy rice

明,模型的拟合效果(R^2 值)指数 > 二次曲线 > 对数 > 直线 > 幂函数。对回归模型进行 F 测验,各种模型均能较好地解释水稻有效穗数与稗密度之间的关系($P < 0.01$)。从各模型的 R^2 值、 F 值显著性及曲线与实测值的拟合程度综合考虑,水稻有效穗数与稗密度之间的关系以指数函数 $y = 437.2e^{-0.0165x}$ 的拟合效果最佳(表 3)。

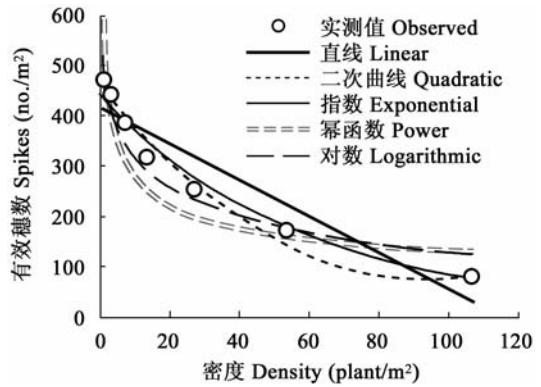


图 2 不同密度稗与水稻有效穗数的曲线拟合

Fig. 2 Curve fit of barnyardgrass density and spike number of paddy rice

表 3 不同密度稗与水稻有效穗数的回归分析

Table 3 Regression analysis between barnyardgrass density and spike number of paddy rice

拟合方式 Fit method	回归模型 Regression model	R^2	F	显著性 Significance
直线 Linear	$y = -3.6133x + 417.67$	0.8706	40.3795	0.0007
二次曲线 Quadratic	$y = 0.0445x^2 - 8.2101x + 455.39$	0.9768	105.3694	0.0001
指数 Exponential	$y = 437.2e^{-0.0165x}$	0.9833	352.4194	0.0000
幂函数 Power	$y = 587.95x^{-0.327}$	0.8224	27.7792	0.0019
对数 Logarithmic	$y = -81.735\text{Ln}x + 505.05$	0.9444	101.8794	0.0001

2.3 稗对水稻千粒重的影响

研究结果表明,稗对水稻千粒重的影响较小。当稗密度在 26.67 株/ m^2 以下时,各处理千粒重下降趋势不明显,与无稗对照之间的差异均未达到显著水平。当稗密度增加到 26.67 株/ m^2 以上时,水稻千粒重较小,与对照相比下降了 4.96%~9.30%,差异达到了显著水平(表 1)。将水稻千粒重与稗密度进行曲线拟合,5 种拟合方式均难以拟合实测值,差异较大(图 3)。从回归模型的 R^2 值看,拟合效果二次曲线 > 指数 > 直线 > 对数 > 幂函数,相关系数均较低($R^2 < 0.8$)。对回归模型进行 F 测验,结果表明,各模型均能较好地拟合水稻千粒重与稗密度之间的关系($P <$

0.05),但以指数函数和直线的效果最佳($P < 0.005$)。从各回归模型的 R^2 值及 F 值的显著性考虑,指数函数 $y = 21.876e^{-0.0006x}$ 能较好地表示水稻千粒重与稗密度之间的关系(表 4)。

2.4 稗对水稻产量的影响

从稗对水稻产量的影响结果来看,稗的发生危害显著降低了水稻产量。田间稗草的密度越大,水稻的产量损失越显著。当稗密度为 1.67 株/ m^2 时,即可使水稻产量下降 16.48%,差异达显著水平。当稗密度增至 13.33 株/ m^2 时,可使水稻产量降低 50% 以上(表 1)。从水稻产量与稗密度的曲线拟合情况来看,对数和二次曲线的拟合效果较好,而其它曲线的拟合差异都比较大

表 4 不同密度稗与水稻千粒重的回归分析

Table 4 Regression analysis between barnyardgrass density and 1000-grain weight of paddy rice				
拟合方式 Fit method	回归模型 Regression model	R^2	F	显著性 Significance
直线 Linear	$y = -0.0132x + 21.875$	0.7723	20.3479	0.0041
二次曲线 Quadratic	$y = 0.000057x^2 - 0.0191x + 21.923$	0.7837	9.0580	0.0218
指数 Exponential	$y = 21.876e^{-0.0006x}$	0.7762	20.8119	0.0038
幂函数 Power	$y = 22.148x^{-0.0129}$	0.7054	14.3654	0.0091
对数 Logarithmic	$y = -0.2748\text{Ln}x + 22.14$	0.7086	14.5918	0.0088

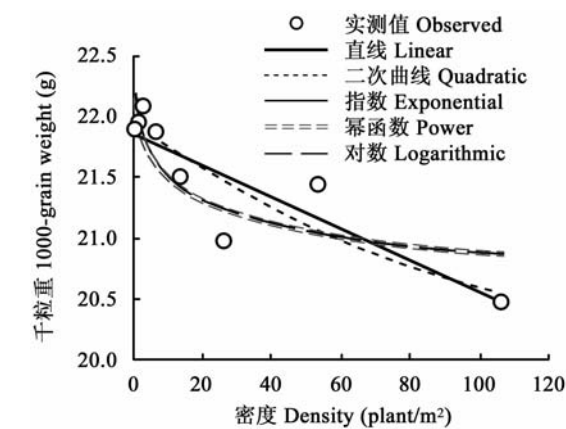


图 3 不同密度稗与水稻千粒重的曲线拟合
Fig. 3 Curve fit of barnyardgrass density and 1000-grain weight of paddy rice

(图 4)。对水稻产量与稗密度进行回归分析,模型的拟合效果对数 > 二次曲线 > 指数 > 幂函数 > 直线。对回归模型进行 F 测验,发现除线性拟合外,其它模型的拟合显著性均较高 ($P < 0.001$),尤以对数函数的拟合效果最佳 ($P < 0.0001$)。从各回归模型的 R^2 值、 F 值显著性及曲线的实际拟合效果综合分析,水稻产量与稗密度之间的关系符合对数函数模型 $y = -1250.4\text{Ln}x + 6375.4$ (表 5)。

对水稻产量损失与稗密度间的关系进行曲线拟合,结果显示对数和二次曲线的拟合效果较好,指数和直线的拟合效果较差(图 5)。回归分析的结果表明,拟合模型的 R^2 值对数 > 二次曲线 > 幂函数 > 直线 > 指数。对回归模型进行 F 测验,发现对数模型的拟合效果最佳 ($P < 0.0001$),指数模型的拟合效果最低,与曲线实际拟合的趋势一致(表 6)。因此,对数函数模型 $y = 18.844\text{Ln}x + 3.9182$ 能较好地表示稗密度与水稻产量损失之间的关系。

2.5 稻田稗草经济危害允许水平及防除阈值的确定

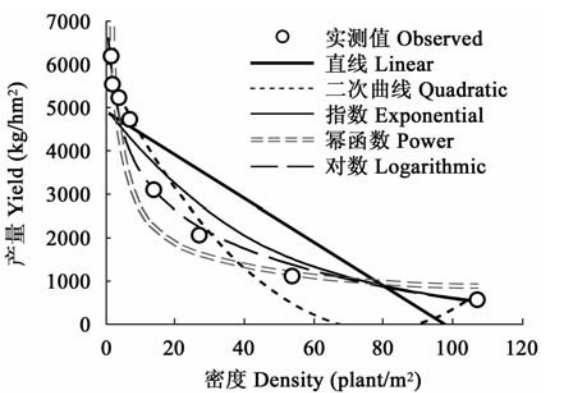


图 4 不同密度稗与水稻产量的曲线拟合
Fig. 4 Curve fit of barnyardgrass density and yield of paddy rice

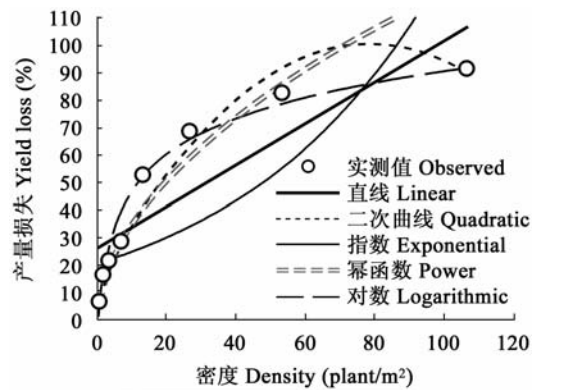


图 5 不同密度稗与水稻产量损失的曲线拟合
Fig. 5 Curve fit of barnyardgrass density and yield loss of paddy rice

在目前的水稻生产水平下,水稻产量 Y 为 $6750\text{kg}/\text{hm}^2$,水稻价格 P 为 1.5 元/ kg 。稻田稗草一般进行人工拔除或化学防除,人工拔除的费用较高,为 450 元/ hm^2 。进行化学防除时,除药剂费用外,还需要一定的施药用工,费用约 37.5 元/ hm^2 。稗草的经济危害允许水平因防除措施的不同存在一定差异。根据稗草的经济危害允许水平(表 7),由拟合的稗密度与水稻产量损失的关系

表 5 不同密度稗与水稻产量的回归分析

Table 5 Regression analysis between barnyardgrass density and yield of paddy rice

拟合方式 Fit method	回归模型 Regression model	R^2	F	显著性 Significance
直线 Linear	$y = -50.2x + 4903.7$	0.7371	16.8262	0.0063
二次曲线 Quadratic	$y = 0.9547x^2 - 148.83x + 5713.2$	0.9516	49.1300	0.0005
指数 Exponential	$y = 5041.4e^{-0.0225x}$	0.9278	77.1188	0.0001
幂函数 Power	$y = 8109.4x^{-0.4784}$	0.8884	47.7723	0.0005
对数 Logarithmic	$y = -1250.4\text{Ln}x + 6375.4$	0.9695	190.7198	0.0000

表 6 不同密度稗与水稻产量损失的回归分析

Table 6 Regression analysis between barnyardgrass density and yield loss of paddy rice

拟合方式 Fit method	回归模型 Regression model	R^2	F	显著性 Significance
直线 Linear	$y = 0.7565x + 26.097$	0.7371	16.8265	0.0063
二次曲线 Quadratic	$y = -0.0144x^2 + 2.243x + 13.899$	0.9516	49.1203	0.0005
指数 Exponential	$y = 20.931e^{0.0182x}$	0.5143	6.3533	0.0453
幂函数 Power	$y = 10.268x^{0.5327}$	0.9363	88.2375	0.0001
对数 Logarithmic	$y = 18.844\text{Ln}x + 3.9182$	0.9695	190.8122	0.0000

表 7 稗草的经济危害允许水平及经济阈值

Table 7 The economic infestation level and economic threshold of barnyardgrass

防除措施 Control measure	防除费用(元/hm ²) Control cost	防除效果(%) Efficacy	经济危害允许水平(%) Economic infestation level	经济阈值(株/m ²) Economic threshold
人工除草 Manual weeding	450	80	5.56	1.09
96% 禾大壮 EC molinate	90	95	0.95	0.85
50% 丁草胺 EC Butachlor	75	90	0.83	0.85
20% 乙苄 WP Acetochlor + bensulfuron-methyl	60	85	0.71	0.84
50% 二氯喹啉酸 WP Quinclorac	105	95	1.10	0.86

模型 $y = 18.844\text{Ln}x + 3.9182$ 得出稻田稗草的相应经济阈值。结果表明,人工防除稗的经济阈值为 1.09 株/m²,即当稻田稗草密度达到 1 株/m² 以上时,就必须进行人工防除,以控制稗的发生危害。对于使用化学除草剂来说,稗的经济阈值较低,当田间稗的密度达到 0.85 株/m² 左右时,就必须用除草剂进行防除,以减少水稻的产量损失。

3 小结与讨论

研究结果表明,稗密度增加,阻碍了水稻的生长发育,导致水稻分蘖数减少,有效穗下降,同时水稻的千粒重、产量均显著降低。本研究对稗与水稻生长及产量性状间的竞争关系进行了曲线拟合和回归分析。在曲线拟合和回归分析中,用复相关系数 R^2 值来说明模型与实际观测值的拟合程度, R^2 反映了由自变量引起的回归平方和与由试验误差引起的残差平方和的关系,其值越接近

1,说明模型的拟合效果越好。从稗与水稻分蘖数间的竞争关系来看,二次曲线和指数函数拟合效果都较好($P < 0.0001$),两者间的差别不大,但稗与水稻有效穗数、千粒重的竞争关系均以指数函数的拟合效果最佳。因此,从总体上来看,稗与水稻分蘖数、有效穗数和千粒重的竞争关系符合指数函数模型。从各指数模型的参数来看,稗密度增加与水稻有效穗数的降低相关性最显著,可能是影响水稻产量的主要原因。

从各种回归模型的拟合效果来看,稗与水稻产量和产量损失的关系以对数模型的拟合效果最好($R^2 = 0.9695, P < 0.0001$)。林文雄等报道^[6],水稻在稗草的竞争干扰下,产量损失可用指数模型预测。而在本研究中,指数模型的 R^2 值(0.5143)和 F 值显著性($P = 0.0453$)均不理想。

作物与杂草的竞争关系国内外的研究报道很多^[4~13],一般用数学模型来描述,其中以 Cousens

的直角双曲线模型^[9,11~12]最具代表性。对于生物竞争模型的评价,除了模型简单易用、对实测值的拟合效果好外,模型的各参数还应具有明确的生物学意义^[5,12]。在农业生产中,作物的种植密度一般比较恒定,变化较大的是杂草的种群密度。剔除作物密度的影响,重点考虑杂草的发生危害水平可以在很大程度上简化模型,本研究结果表明,获得的模型拟合效果均非常好。

参考文献(References)

- 1 李扬汉. 中国杂草志. 北京:中国农业出版社,1998
- 2 蒋立成,钱裕民. 黑龙江东部垦区农田稗属杂草生态特性的研究. 植物保护学报,1983, 10(2): 45-49
- 3 强胜. 杂草学. 北京:中国农业出版社,2001
- 4 李博. 植物竞争-作物与杂草相互作用的实验研究. 北京:高等教育出版社, 2001, 40-41
- 5 涂修亮,胡秉民. 看麦娘和小麦竞争效应模型研究. 浙江农业大学学报,1999,25(1): 36-40
- 6 林文雄,姚文辉,金吉雄,等. 杂交水稻与稗草种间竞争的优劣势表现 II. 水稻与稗草在混播栽培中的种间竞争分析. 福建农业大学学报,1998,27(4): 393-396
- 7 刘德立, Lovett J V, Johnson I R. 杂草对作物产量损失的经验模型. 植物保护学报,1991,18(4): 371-377
- 8 张朝贤,胡祥恩,钱益新,等. 杂草密度与作物产量损失的预测模型. 植物保护, 1997, 23(2): 6-10
- 9 朱文达. 蒭草与油菜的竞争及防除阈值. 植物保护学报, 2004,31(1): 101-106
- 10 朱文达,涂书新. 湖北省麦田看麦娘的危害及经济阈值的初步研究. 华中农业大学学报,1997, 16(3): 268-271
- 11 Cousens R. A simple model relating yield loss to weed density. Annals of Applied Biology, 1985, 107: 239-252
- 12 Cousens R. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. Weed Technology, 1991, 5: 664-673
- 13 Firbank L G, Watkinson A R. On the analysis of competition within two-species mixtures of plants. Journal of Applied Ecology, 1985, 22: 503-517

Influence of barnyardgrass, *Echinochloa crusgalli*, on the growth and yield of paddy rice and its economic threshold

ZHU Wen-da

(Institute of Plant Protection and Soil Fertilization, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: The occurrence and infestation of barnyardgrass, *Echinochloa crusgalli* Beauv., in paddy fields constitutes a major threat in rice production. To determine the influence of barnyardgrass on the growth of paddy rice and its economic infestation level, additive series experiment and curve fit were adopted to study the change of rice yield characters under different density of barnyardgrass. The results showed that with the interference of barnyardgrass, the tillers, effective spikes, 1000-grain weight and yield of paddy rice decreased gradually as the weed density increased. The exponential regression model $y = be^{ax}$ was relatively better for describing the relationship between barnyardgrass density and rice tillers ($y = 493.74e^{-0.0164x}$, $P < 0.0001$), effective spikes ($y = 437.2e^{-0.0165x}$, $P < 0.0001$) and 1000-grain weight ($y = 21.876e^{-0.0006x}$, $P < 0.005$), while logarithmic regression model $y = a\ln x + b$ was the best for rice yield ($y = -1250.4\ln x + 6375.4$, $P < 0.0001$) or yield loss ($y = 18.844\ln x + 3.9182$, $P < 0.0001$). When herbicide such as acetochlor + bensulfuron-methyl, butachlor, molinate or quinclorac was used to control barnyardgrass in paddy fields, the economic infestation level for barnyardgrass was 0.71% - 1.10% and the economic threshold was about 0.85 plant/m².

Key words: Barnyardgrass; paddy rice; curve fit; economic infestation level; economic threshold